

УДК 681.3

Котовський В.Й. к.т.н., Микитенко В.І. к.т.н.

Комплексування зображень в багатоканальних оптико-електронних системах з різноформатними матричними приймачами випромінювання

В работе решается задача выбора конфигурации входного оптического блока двухканальной оптико-электронной системы с разноформатными приемниками излучения и метода комплексирования изображений для медицинской и дистанционной диагностики.

The optical block of two-channel multiresolution optoelectronic system design configuration and image fusion method are developed for medical diagnostics and remote diagnostics of buildings.

Вступ

Останніми роками значно збільшився інтерес до медичних та дистанційних візуалізуючих багатоканальних пристроїв. Як правило, основним елементом таких пристроїв є оптико-електронна система (ОЕС) видимого діапазону, а допоміжним – тепловізійна, поляриметрична, лазерна локаційна система тощо [1]. Ефект від сумісного використання кількох інформаційних каналів в рамках однієї багатоканальної оптико-електронної системи (БК ОЕС) полягає в покращенні інформаційної якості результуючого зображення порівняно з кожним окремим зображенням. Необхідною умовою практичної реалізації такого покращення є точне просторове суміщення зображень в каналах. Цього досягають двома шляхами – конструктивно суміщенням оптичних осей у входному блоці БК ОЕС і програмно під час комплексування інформації. Для БК ОЕС з однотипними приймачами випромінювання (ПВ), наприклад, пари "кольорова або чорно/біла ПЗЗ камера – низькорівнева ПЗЗ камера" або "спектральні ПЗЗ камери низького розділення – панхроматична ПЗЗ камера високого розділення", просторове суміщення виконується відносно просто, позаяк, по-перше, зображення в кожному каналі семантично не відрізняються; по-друге, фізичні формати ПВ каналів також мало відрізняються між собою. У випадках, коли в БК ОЕС значно відрізняються ПВ каналів, зіставлення зображень суттєво ускладнюється. Якщо деякий набір релевантних елементів зображення, таких як контури, кути, точки або інші геометричні примітиви містяться в кожному з зображень, то програмне суміщення відбувається ефективно і безвідносно до контрасту і шумових складових в зображеннях [2, 3]. Але часто релевантні елементи зображень одного каналу можуть

бути відсутні в другому, або можуть мати відмінний характер. В цьому разі доводиться застосовувати непрямі методи суміщення зображень. Ймовірно, що ефективність конкретного обчислювального методу залежатиме від фізичного суміщення полів зору каналів.

Одним з найпоширеніших типів БК ОЕС наразі є системи у складі каналів видимого і тепловізійного ($\Delta\lambda=8\ldots14$ мкм) діапазонів. Релевантні ознаки зображень в каналах таких систем є суттєво відмінними, оскільки тепловізійний канал відображає інформацію здебільшого про внутрішній стан об'єкта спостереження. Крім того, незважаючи на те, що всі сучасні ПВ є матричними, розмірність ПВ видимого діапазону значно більше, ніж тепловізійного і суміщення геометричних форматів ПВ каналів є нетривіальною задачею.

Постановка задачі

В даній роботі на прикладі БК ОЕС з видимим ($\Delta\lambda_1=0,45\ldots0,85$ мкм) і тепловізійним ($\Delta\lambda_2=7,5\ldots13,0$ мкм) каналами, які оснащені різноформатними матричними ПВ, вирішується задача взаємного вибору схематичної конфігурації вхідного оптичного блоку БК ОЕС і методу комплексування зображень для медичної діагностики і дистанційної діагностики складних об'єктів. При цьому не враховується просторово-частотний характер об'єктів і фонів.

Схемотехніка вхідного блоку і обґрунтування методу комплексування зображень

Специфіка створення БК ОЕС визначає обмеження щодо просторового конфігурування оптичних систем каналів. У разі розробки системи "з нуля" можна реалізувати будь-який варіант одного з двох відомих методів – розділення/суміщення випромінювання – по фронту або по амплітуді. Найбільш вживані схеми оптичного суміщення в двоканальних ОЕС представлені на рис. 1: схеми а) і б) працюють за поділом по амплітуді, а схеми в) і г) – за поділом по фронту потоку випромінювання. Слід зазначити, що в БК ОЕС з кількістю каналів більше 2 і з матричними ПВ для суміщення оптичних осей використовуються, як правило, амплітудні схеми з призмовими світлоподільниками.

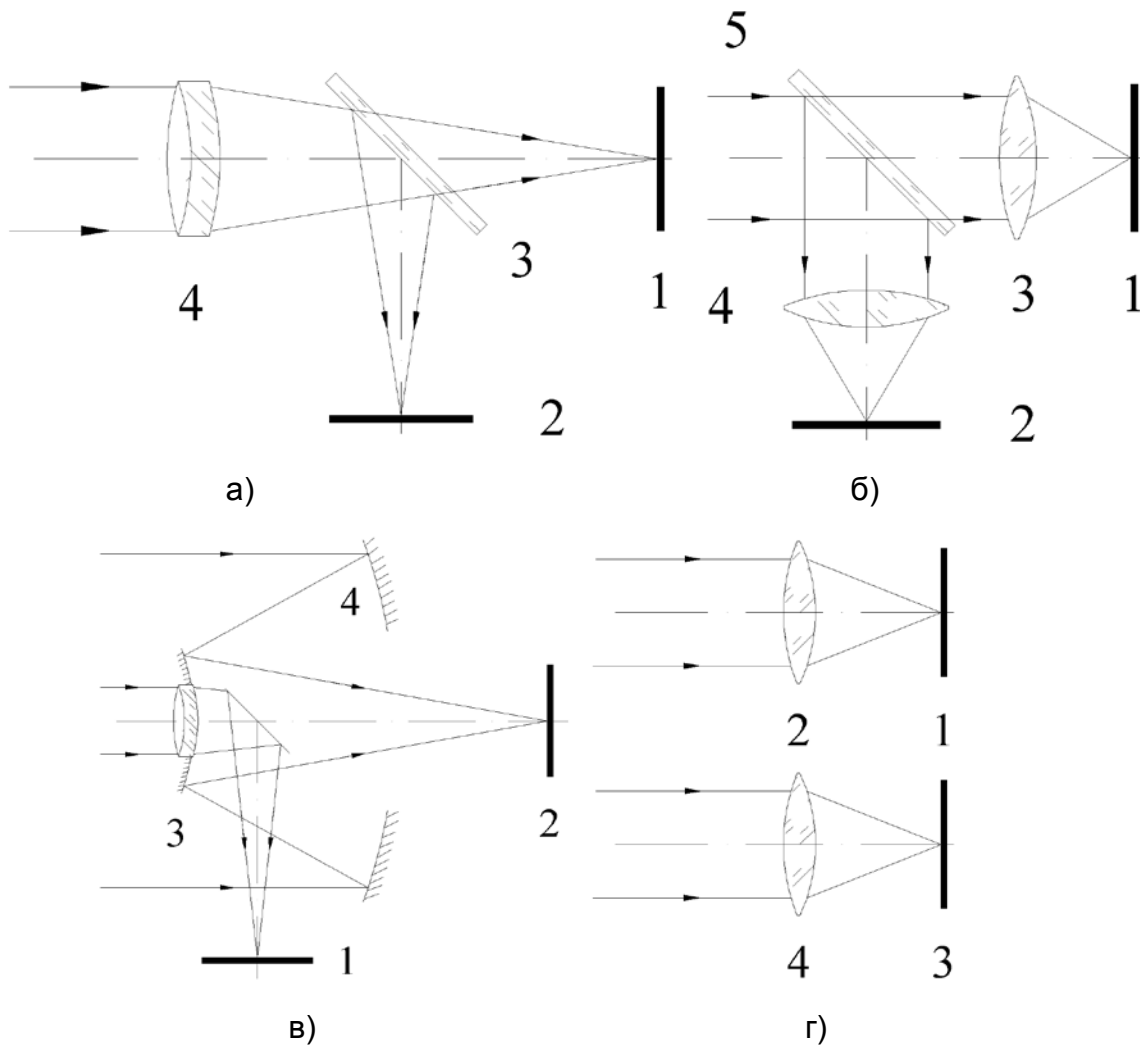


Рис. 1. Типові схеми входних блоків двоканальних ОЕС

а): 1,2 – площини ПВ каналів; 3 – дихроїчне дзеркало; 4 – широкоспектральний об'єктив; б): 1,2 – площини ПВ каналів; 3, 4 - вузькоспектральні об'єктиви каналів; 5 - дихроїчне дзеркало; в): 1,2 – площини ПВ каналів; 3, 4 – з'єднаний двоспектральний об'єктив; г): 1,3 – площини ПВ каналів; 2, 4 – вузькоспектральні об'єктиви каналів

Основними показниками досліджуваних схемотехнічних рішень є точність суміщення оптичних осей каналів, похибки взаємного повороту полів зору, стійкість до роз'юстування, складність і масо-габаритні характеристики конструкції. Очевидно, що в інтегральному показнику якості конкретного схемотехнічного рішення перераховані параметри складатимуться з різними ваговими коефіцієнтами в залежності від призначення БК ОЕС. Але в цілому вхідний блок за схемою а) можна вважати найефективнішим за сумою показників – він найкращим чином забезпечує суміщення осей, є відносно простим і стійким до роз'юстування. Основним недоліком такої схеми є обмеження, які виникають через необхідність використання широкоспектрального об'єктиву. Для забезпечення роботи каналів БК ОЕС в близьких спектральних піддіапазонах (наприклад, видимому та ближньому

інфрачервоному) можна підібрати або створити потрібний об'єктив, але у випадку роботи в діапазонах $\Delta\lambda_1=0,45\ldots0,8$ мкм і $\Delta\lambda_2=7,5\ldots13,0$ мкм такий об'єктив має бути дзеркальним. Дзеркальні об'єктиви досить широко використовуються в БК ОЕС космічного базування [4], але через відносно великі габарити і вузькі поля зору є малопридатними для більшості галузей наземного застосування. Рішення за схемою б) є більш універсальним і дозволяє використовувати готові приймальні ОЕС зі своїми об'єктивами. У даному випадку забезпечується хороше суміщення оптичних осей каналів, але юстування системи ускладнюється порівняно з попередньою схемою. Схеми в) і г) побудовані на основі двох окремих каналних об'єктивів. Різниця між ними полягає в розташуванні об'єктивів – в першому випадку їх розташовано коаксіально, в другому – один поряд з іншим. Коаксіальне розташування об'єктивів каналів (об'єктив 4 схеми в) може бути не тільки дзеркальним, але й лінзовим) дозволяє дуже чітко сумістити оптичні осі, а відсутність світлоподільника робить конструкцію навіть більш стійкою до роз'юстування, ніж по схемі а). До того ж на відміну від а) такий вхідний блок виконує свої функції в будь-яких спектральних діапазонах і дає можливість установлювати кутові поля окремо для кожного з каналів. Схема г) є найпростішою з розглянутих, але може застосовуватись тільки у випадках, коли немає потреби в точному суміщенні полів зору каналів. В більшості БК ОЕС з комплексуванням зображень на рівні датчиків, схема г) не є прийнятною.

Для проведення енергоаудиту складних об'єктів (наприклад будівель) і виявлення тріщин в них створено макетний зразок БК ОЕС у складі тепловізійної камери і телевізійної камери (рис.2).



Рис. 2. Загальний вигляд макету БК ОЕС

Як видно (рис. 2) БК ОЕС побудовано за схемою б). Спектральний канал $\Delta\lambda_2=7,5...13,0$ мкм реалізовано на основі тепловізійної камери FLIR 301 з мікроболометричним ПВ, а в каналі $\Delta\lambda_1=0,45...0,8$ мкм використовувалась чорно/біла ПЗЗ камера РІН-750. Взагалі в дистанційних чи медичних БК ОЕС видимий канал може базуватись як на чорно/білих, так і на кольорових матричних ПВ. Це залежить від призначення видимого каналу. В іконічних системах послідовного типу, де оператор спостерігає зображення каналів по черзі, частіше використовуються кольорові телевізійні камери (якщо це дозволяє рівень освітленості), а в системах з комплексуванням – чорно/білі камери. Принципових перешкод для використання кольорових камер і в другому випадку немає, але при цьому зменшується точність і ускладнюється обробка сигналу. Суміщення каналів здійснювалось з допомогою дихроїчного світлоподільника. Зображення видимого каналу вводилось в комп'ютер, а тепловізійне зображення паралельно запам'ятовувалось у власному блоці обробки камери і вводилось в комп'ютер для відображення на моніторі. Дослідження взаємодії застосованих методів комплексування і якості просторового суміщення каналів виконувалось за допомогою тест-об'єкта у вигляді перехрестя, вирізьбленого на дзеркалі з зовнішнім відбиваючим покриттям.

Просторове розділення мікроболометричного ПВ складає 320×240 пікселів з розміром 35×35 мкм², а ПЗЗ камери – 582×500 пікселів з розміром 10×10 мкм². Кутове поле зору тепловізійної камери становить 30° , а ПЗЗ камери з об'єктивом $f'=12$ мм – 36° . Тобто в загальному випадку проекція полів зору каналів в простір предметів має вигляд, зображений на рис.3.

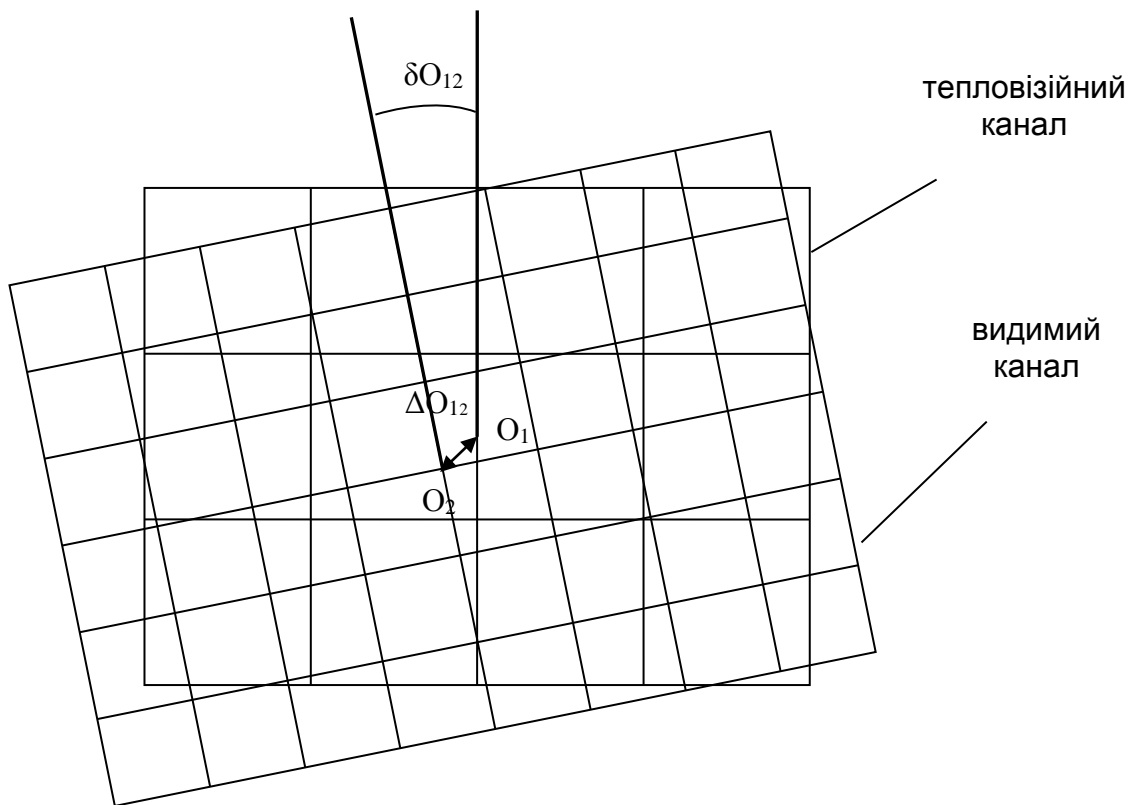


Рис. 3. Похибки суміщення полів зору

Можна виділити три похибки просторового суміщення полів зору: поперечне зміщення оптичних осей ΔO_{12} , поворот матриць ПВ і різниця періоду просторової дискретизації в каналах. У практиці звичайного послідовного використання двоканальних ОЕС при дистанційних спостереженнях вказані похибки зменшуються таким чином: кутові поля каналів встановлюються максимально однаковими, а кутова відстань між оптичними осями і нахил растрів ПВ мінімізуються безвідносно до розмірів пікселів. В разі комплексування інформації в БК ОЕС вимоги до точності суміщення мають формуватись виходячи з алгоритму комплексування. Очевидно, що якщо метою комплексування є саме суміщення зображень, то конструктивне суміщення полів зору у вхідному оптичному блоці може бути виконано менш точно, ніж тоді, коли алгоритми взаємної обробки зображень націлені, наприклад, на підвищення результуючої інформативності. В експерименті за допомогою тест-об'єкта поля зору каналів попередньо суміщались з точністю $\Delta O_{12} = \pm 2$ піксели тепловізійного каналу і $\delta O_{12} = \pm 1^\circ$ (що дорівнює приблизно лінійному зміщенню на краю кадру тепловізійного каналу ± 2 піксели).

Серед трьох основних рівнів комплексування [5] найпростішим і найшвидшим є рівень датчиків. Ефект від такого комплексування є особливо відчутним при роботі в квазіреальному масштабі часу з зображеннями з однаковими релевантними

ознаками, або ж із задачами, які може бути зведено до виявлення об'єктів з відносно невеликим алфавітом. Класичним прикладом є ОЕС для дистанційної діагностики і енергоаудиту будівель. В цьому випадку спостереження проводяться вдень, значні завади відсутні, ослаблення випромінювання атмосферою мінімальне і зображення в кожному з каналів в значній мірі формуються елементами конструкцій. Інформація в каналах зазвичай має форму двох паралельних відеопослідовностей, кожна з яких складається з окремих повних кадрів. Для сумісної обробки сигналів двох амплітудних матриць, якими є кадри, можна застосувати один з показників подібності. Наприклад, коефіцієнт кореляції [6], показник спільної інформації (mutual information) [7], статистичну розбіжність [8].

Показник взаємної інформації MI як ентропійна міра взаємної залежності двох випадкових дискретних сигналів A і B (а саме такі сигнали формуються матричними ПВ) має вигляд:

$$MI(A, B) = \sum_i \sum_j P(A_i, B_j) \log_2 \frac{P(A_i, B_j)}{P(A_i) \cdot P(B_j)},$$

де $P(A_i, B_j)$ - умовна ймовірність реалізацій A і B ; $P(A_i)$, $P(B_j)$ - безумовні ймовірності реалізацій A і B .

Цей показник останнім часом набуває все більшої популярності і видається доцільним його використання для виявлення витоків тепла з допомогою БК ОЕС енергоаудиту будівель при остаточній постобробці зображень. Для перевірки цього твердження був проведений натурний експеримент з реєстрацією змістовного зображення міського ландшафту (рис.4). Він підтвердив ефективність показника MI для суміщення зображень за наявності контрастних релевантних елементів. Причому програмне суміщення було досить ефективним навіть при збільшенні ΔO_{12} до ± 4 і δO_{12} до $\pm 2^\circ$.

Оцінка якості просторового суміщення при комплексуванні методом, запропонованим в [9], вже потребує залучення даних з моделі об'єкта спостереження. Адже точність суміщення має відповідати просторовому розділенню на об'єкті з врахуванням конструктивних особливостей будівлі і моделі теплопереносу. В цьому випадку ймовірно набуває більшої значимості розмірність матричного ПВ видимого каналу і можна зробити деякі аналогії з методиками, які використовуються під час комплексуванні панхроматичного і спектральних каналів у разі дистанційного зондування Землі [10].



а) діапазон $\Delta\lambda_2=7,5\ldots13,0$ мкм



б) діапазон $\Delta\lambda_1=0,45\ldots0,8$ мкм

Рис. 4. Зображення будівлі отримано за допомогою БК ОЕС

Іншою важливою задачею діагностики стану інженерних споруд є виявлення тріщин. Обчислення за критерієм максимуму показника MI при спостереженні тріщин у пофарбованій вапном стелі не дало задовільних результатів. Тобто виявлення та діагностика тріщин в будівлях є прикладом, коли взаємна інформація як критерій комплексування дає неадекватний результат. Отже для БК ОЕС, каналні зображення в яких значно відрізняються одне від одного, показник MI не може використовуватись внаслідок слабкої статистичної залежності між сигналами. До таких БК ОЕС очевидно належать і медичні системи.

В системах зі слабкою статистичною залежністю між сигналами каналів часто інформативна якість каналів є різною і апіорно невідомо, який з каналів слід вважати основним. Очевидно, що в цьому разі алгоритм комплексування має враховувати процедуру прийняття рішень кінцевою ланкою всієї інформаційної системи (у випадку іконічних систем необхідно враховувати особливості зорового сприйняття оператора).

Висновки

Для отримання задовільних результатів комплексування зображень, що формуються матричними ПВ в БК ОЕС, точність просторового суміщення полів зору каналів має відповідати методам комплексування. Найвищу якість суміщення полів зору забезпечують оптичні системи з коаксіальним розташуванням об'єктивів каналів, а в разі використання штатних об'єктивів – схеми з дихроїчними світлоподільниками. БК ОЕС для медичних спостережень та дистанційної діагностики будівель потребують доопрацювання в частині алгоритмів постобробки інформації з метою врахування в них особливостей зорового сприйняття людини.

Література

1. Микитенко В.І., Котовський В.Й., Богатирьова Г.В. Багатоканальні іконічні системи дистанційного моніторингу / Вісті академії інженерних наук України. – 2007. - № 2(32). – С.21 – 26.
2. Guezies A., Pennec X., Ayache N. Medical Image Registration Using Geometric Hashing / IEEE Computational Science and Eng., vol. 4, no. 4, pp. 29-41, 1997.
3. Manjunath B.S., Mitra S.K. A Contour-Based Approach to Multisensor Image Registration / IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, no. 3, pp. 320-334, 1995.
4. Колобродов В.Г., Микитенко В.І. Тенденції розвитку космічних оптико-електронних систем спостереження Землі / Наукові вісті НТУУ “КПІ”.- 2007. - №3. – с. 115-120.
5. Микитенко В.І. Комплексування інформації в оглядово-візирних системах керованих рухомих об'єктів / Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування.- 2005. – Вип. 30. – С. 36 - 41.
6. Мосягин Г.М., Немтинов В.Б., Лебедев Е.Н. Теория оптико-электронных систем: Учеб. для студентов вузов для оптических специальностей / М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.
7. Wells W.M., Viola P., Atsumi H., etc. Multimodal Volume Registration by Maximization of Mutual Information / Medical Image Analysis, vol. 1, no. 1, pp. 35-51, 1996.
8. He Y., Ben-Hamza A., Krim H. A Generalized Divergence Measure for Robust Image Registration / IEEE Trans. Signal Processing, vol. 51, no. 5, pp. 1211-1220, 2003.
9. Котовський В.Й., Микитенко В.І. Багатоканальні системи технічного зору для дистанційного енергоаудиту складних об'єктів /Вісті академії інженерних наук України. – 2008. - № 2(36). – С.16 – 19.
10. Злобин В.К., Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 288 с.